

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

MATERIÁLY PANCÍŘŮ TANKŮ

MATERIALS OF TANK ARMOUR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Fikar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav materiálových věd a inženýrství
Student:	Ondřej Fikar
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Eva Mollíková, Ph.D., Paed IGIP
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Materiály pancířů tanků

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce pojednává rešeršní formou o materiálech používaných na výrobu pancířů tanků.

Cíle bakalářské práce:

Student ve své práci:

- shrne historii vývoje tanků
- popíše požadavky, které jsou na pancíře tanků kladeny
- uvede a blíže charakterizuje materiály, které těmto požadavkům mohou vyhovět

Seznam literatury:

Askeland, D. R., Phulé, P. P. The Science and Engineering of Materials. 5th ed. UK: Thomson, 2006. ISBN 0-534-55396-6.

Callister, W. D. Material Science and Engineering, An Introduction. GB: John Willey and Sons, 2003. ISBN: 0-471-22471-5.

Military Tanks, Armored Combat Vehicles and Artillery from Origin to Present Day. Online version available on <http://www.militaryfactory.com/armor/>

Armour and Defence Technology. Online version available on <http://efni.org/armor.htm>.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce s názvem „Materiály pancířů tanků“ se nejprve zabývá protitankovou municí a jejím rozdělením, následuje stručný popis vybraných tanků vyrobených ve Velké Británii, Německu a Rusku a jejich vlivu na vývoj tankové techniky. V další části práce popisuje pancíř, základní principy jeho funkce a rozdělení pancířů podle účelu a podle chemického složení. Závěrem jsou uvedeny konkrétní příklady chemického složení některých pancéřových materiálů.

Abstract

This bachelor's thesis named „Materials of Tank Armour“ deals at first with anti-tank ammunition and its distribution, followed by a brief description of some tanks constructed in Great Britain, Germany and Russia and their impact on development of tank technology. In the next part the thesis describes armour, basic principles of its function and division of armours according to its purpose and chemical composition. In conclusion, particular examples of chemical composition of some armour materials are introduced.

Klíčová slova

Tank, pancíř, tankový pancíř, protitanková munice, materiál pancíře

Key words

Tank, armour, tank armour, anti-tank ammunition, armour material

Bibliografická citace

FIKAR, O. *Materiály pancířů tanků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval samostatně s využitím uvedených zdrojů.

V Brně dne: _____

Ondřej Fikar

Obsah

Úvod	7
1 Protipancéřová munice	8
2 Historický vývoj tanků	12
2.1 Velká Británie	12
2.2 Německo.....	16
2.3 Sovětský svaz/Rusko.....	18
3 Tankový pancíř.....	22
3.1 Rozdělení pancířů tanků.....	23
3.2 Kompozitní tankové pancíře	26
4 Další materiály vyvíjené/používané pro pancéřování	29
5 Současný směr vývoje pancířů	31
6 Chemické složení pancířů	32
Závěr.....	34
Seznam použitých zdrojů	35
Seznam obrázků	38
Seznam tabulek	38

Úvod

Hlavním tématem této práce jsou materiály pro výrobu tankových pancířů. U moderních tanků je přesné složení pancířů utajováno z důvodu strategické výhody nad případným nepřítelem, a proto se budu více soustředit na pancíře tanků starších, jejichž složení již je lépe dostupné.

Lidská společnost se neustále vyvíjí a s tím souvisí i výroba nových a lepších zbraní a prvků ochrany proti nim. Vyvíjení tankového pancíře začalo ve chvíli, kdy začaly vznikat první tanky a dostaly se na bojiště. Pokaždé, když se objevil nový nebo lepší pancíř, zanedlouho odpovéděl zbrojní průmysl lepší zbraní, která dokázala nový pancíř překonat. Toto „přetahování“ mezi pancířem a zbraní stále neskončilo a pravděpodobně ještě dlouho neskončí.

Tankový pancíř i tanková technika obecně se nejrychleji rozvíjely v průběhu druhé světové války, kdy během pár let vzniklo mnoho různých prototypů tanků, děl a dalšího vybavení.

V této práci se budu nejprve věnovat protipancéřové munici, abych nastínil, čemu pancíře v průběhu let musely čelit. Poté následuje část, ve které uvedu několik tanků, na kterých se pokusím nastínit historický vývoj tankové techniky. Vzhledem k velkému množství tanků, které v různých státech vznikly, není možné v rámci této práce vytvořit ucelený souhrn pro detailní popis historického vývoje. Kapitola 3 se zabývá popisem pancíře, jeho rozdělením podle různých kritérií a popisem současného vývoje pancířů. Na konci práce uvedu také konkrétní chemická složení některých materiálů používaných či potenciálně vhodných pro pancéřování.

V této práci uvádím tloušťku pancíře některých vozidel. V případě tanků, které měly kompozitní pancíř se vždy jedná o ekvivalentní vyjádření tloušťky homogenního ocelového pancíře, který poskytuje stejnou úroveň ochrany, jako daný kompozitní pancíř.

1 Protipancéřová munice

Pro moderní zbraně existuje mnoho druhů a typů munice určených pro různá praktická využití. Požadavky na účinek konkrétního druhu munice a zbraň, pro kterou je určen, ovlivňují do značné míry konstrukci a případné plnění této munice. Pro tuto práci je podstatná pouze munice protipancéřová, kterou se také zabývá tato kapitola. Protipancéřová munice využívá pro své ničivé účinky nejčastěji energii kinetickou, chemickou, nebo jejich kombinaci. Od protipancéřových střel se vyžaduje, aby nespotřebovaly veškerou svoji energii na probití pancíře (deformace a zahřátí pancíře i střely), ale aby jí část zbyla na ničení objektů/živé síly za pancířem.

Těla protipancéřových střel se nejčastěji vyrábějí z ušlechtilých legovaných ocelí, hlavními legujícími prvky jsou chrom a vanad. Pro získání potřebných mechanických vlastností je nutné vhodně zvolit jejich tepelné zpracování. [1]

Vzhledem k široké škále používaných typů střel, jejich tvarům a zásadního vlivu dopadové rychlosti, je velice složité popsat mechanismy prorážení pancíře. Proces penetrace, případně perforace, zahrnuje několik různých mechanismů poškození plátů a výsledek je vždy kombinací více těchto mechanismů, proto se u jednotlivých typů munice nebudu těmito konkrétními kombinacemi detailně zabývat. Právě z důvodu komplexnosti procesu penetrace bylo pro jeho matematický popis empiricky určeno mnoho vztahů pro jednotlivé balistické podmínky. Například pronikání střely s měkkým jádrem (z olova nebo měkké oceli) ocelovým plechem probíhá přibližně následujícím způsobem:

Při dopadu střely na pancíř dostatečnou rychlostí – s dostatečnou kinetickou energií – dochází k deformaci měkké střely, která se zkracuje a narůstá její průměr (rozkládá se). Současně dochází také k poškození povrchu pancíře i přes jeho vyšší tvrdost a střela proniká do pancíře. Během prorážení se střela dále deformuje a v přední části se rozkládá, a proto je výsledný střední průměr průstřelu výrazně větší než průměr dopadající střely před deformací. Vlivem přenosu kinetické energie mezi střelou a pancířem dochází i k roztržení vnitřní vrstvy pancíře kolem místa průstřelu (v závislosti na houževnatosti/křehkosti této vrstvy) na střepiny o vysoké teplotě, které v chráněném prostoru mohou způsobit další škody. [2]

Při pronikání střely pancířem dochází k výraznému zahřátí jak pancíře, tak i střely vlivem silného tření a odporu, který pancíř klade proti pohybu střely. Podle Juříčka často dochází i k natavení nejbližšího okolí místa dopadu a po zásahu vzniká tepelně ovlivněná oblast materiálu, ve které může docházet k fázovým přeměnám, a tedy i změnám mechanických vlastností. [3]

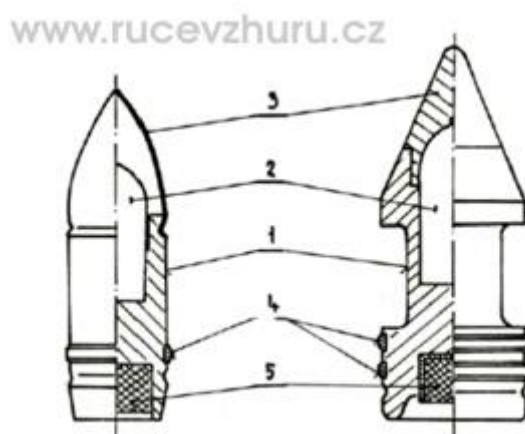
Průbojné střely

Průbojné protipancéřové střely působí na cíl při dopadu svojí kinetickou energií a jsou určeny k ničení pancéřovaných cílů, tedy převážně tanků, dalších obrněných vozidel nebo ocelových/železobetonových překážek. Jedná se o původní typ protipancéřové munice, který byl postupem času dále zdokonalován. Protože využívá kinetickou energii, byl při jejím vývoji kladen důraz na zvyšování rychlosti letu střely a dobré aerodynamické vlastnosti. Hmotnost nelze tak snadno ovlivnit, protože je přímo spjata s ráží děla a v rámci jedné ráže ji lze měnit pouze změnou materiálu nebo délky střely. Zároveň délka střely nesmí přesáhnout šestinásobek své ráže, aby bylo možné ji na dráze letu stabilizovat rotací. [1]

Průbojné střely se dělí na:

- Rážové

- Plné – používají se převážně u děl malých ráží (do 76 mm) a jsou tvořeny ocelovým tělem zpracovaným na vysokou tvrdost. Špička má pro dosažení co nejvyšší průraznosti tvar krátkého kužele s velkým vrcholovým úhlem, nebo kruhového oblouku.
- Jádrové – jádrové střely byly vyvinuty Němci ve druhé polovině roku 1940 ve snaze o snížení hmotnosti a zvýšení dopadové rychlosti oproti střelám plným. Jádro z vysoce tvrdého materiálu (např. kalené oceli legovaná chromem, vanadem a manganem či karbidu wolframu) je uzavřeno v těle střely a má hlavní vliv na prorážení pancíře. Při dopadu vstřebá měkký obal střely prvotní ráz a zdeformuje se a ochrání tím tvrdé a křehké jádro před roztržením. Průrazný účinek je lepší než u plných střel, protože jádro má menší průměr a umožňuje využití tvrdšího materiálu než plná střela, aniž by se roztránilo. Nevýhodami jádrových střel však jsou horší přesnost střelby a vyšší výrobní náklady. Uvnitř prostoru chráněného pancířem působí plné i jádrové střely kinetickou a tepelnou energií střepin vzniklých z pancíře i těla střely, popřípadě jádra. Všechny typy rážových střel jsou stabilizovány rotací. [1] Na obrázku 1 [4] jsou zobrazeny dvě různé konstrukce jádrové střely – s cívkovým a válcovým pouzdrem.



Obrázek 1 - Jádrová střela s válcovým (vlevo) a cívkovým (vpravo) pouzdrům [4]

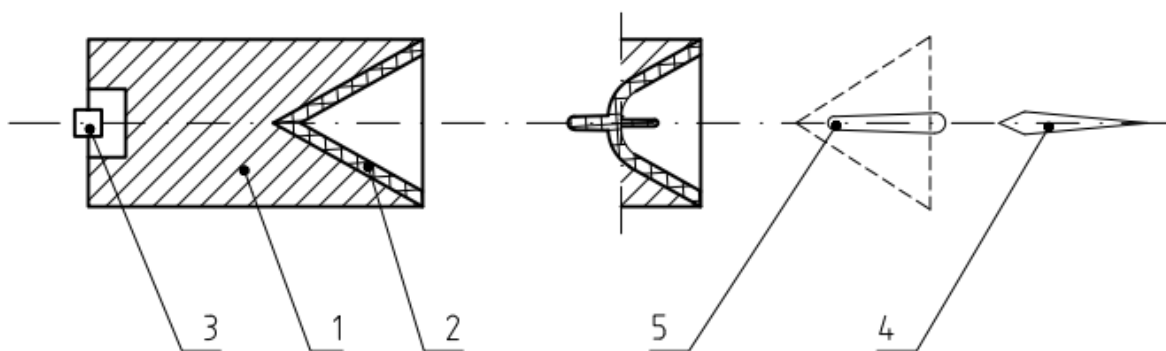
1 – tělo střely; 2 – průbojné jádro; 3 – balistická čepice; 4 – vodící obroučka; 5 - stopovka

- Existují další typy rážových průbojných střel, které mají různě modifikované špičky či obsahují tzv. balistické čepice pro zlepšení průbojných účinků, nebo obsahují menší množství výbušniny, jejímž účelem je vybuchnout až v chráněném prostoru a zvýšit tak způsobené škody. [5] „V současné době jsou již průbojné rážové střely hodnoceny z hlediska požadované průbojnosti jako neperspektivní typ protipancéřových střel, neboť jejich průbojnost homogenního ocelového pancíře při současných výkonech hlavních zbraní zpravidla nepřevyšuje 2 ráže.“ [1]
- Podkaliberní – části těchto střel letící na cíl (neboli aktivní části) mají menší průměr, než je ráže děla, pro které jsou určeny. Podkaliberní střely se podle způsobu stabilizace na dráze letu dělí na:

- Stabilizované rotací – průměr aktivní části střely je přibližně poloviční ve srovnání s ráží děla a její délka je maximálně 6 ráží. Pro vedení střely v hlavní se využívá pouzdro, které vlivem odporu vzduchu ze střely sklouzne po opuštění hlavní. Obvykle se tyto střely vyrábí jako jádrové a obsahují jádro z karbidu wolframu pro dosažení co nejvyšší průbojnosti. Úst'ová rychlost těchto střel dosahuje až 1500 m/s.
- Šípové stabilizované křídélky – dosahují ještě vyšších úst'ových rychlostí a průrazností než rotací stabilizované podkaliberní střely. Jsou vystřelovány z hladkých hlavní bez drážkování, z drážkovaných hlavní pouze ojediněle. Průměr střely se pohybuje kolem třetiny ráže hlavní a její délka může přesahovat i 15 ráží. [1]

Kumulativní střely

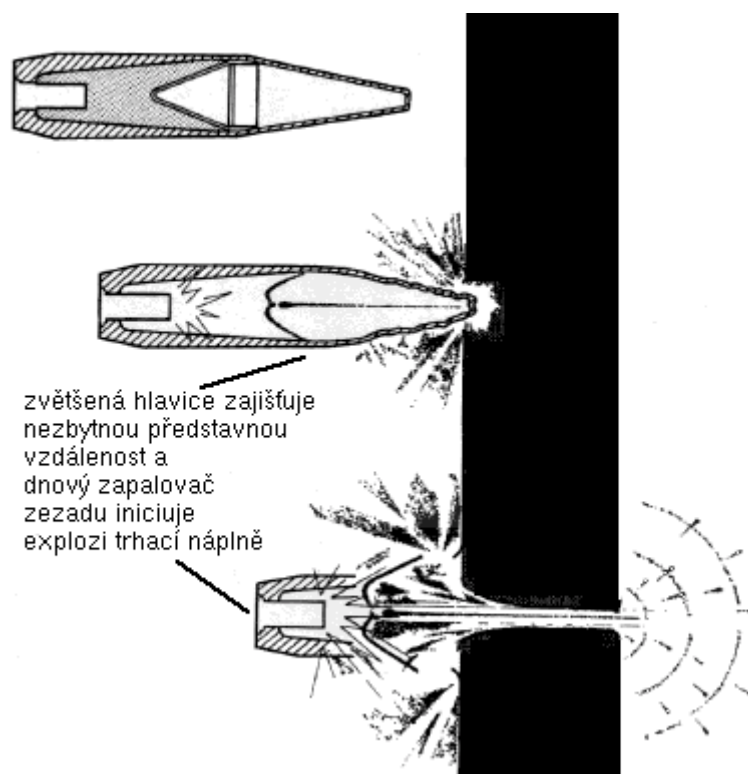
Kumulativní střely (někdy také nazývané tříštivé protitankové střely) jsou typem protipancéřové munice, který využívá k pronikání pancířem chemické reakce. Střela se skládá z tenkého obalu, který obsahuje explozivní nálož s kuželovým vybráním, do kterého je vložena (nejčastěji měděná) vložka. Při nárazu střely na pancíř dojde k iniciaci nálože. Tlak detonace (10-35 GPa) působí na stěny měděné vložky, která se bortí a vlivem vysoké teploty taví. Roztavený kov spolu se zplodinami exploze se koncentruje v ose původní kuželové vložky, kde tvoří kumulativní paprsek o malé hmotnosti, ale velmi vysoké rychlosti – podle Beera se může pohybovat i kolem 10 000 m/s [1]. Průběh vytváření kumulativního paprsku je znázorněn na obrázku 2 [1]. Tento paprsek pak propálí pancíř a uvnitř chráněného prostoru velmi rychle stoupne teplota i tlak, čímž dochází k ničivému účinku. [5]



Obrázek 2 - Průběh kumulace [1]

1 – trhavina; 2 – kumulativní vložka; 3 – rozbuška; 4 – kumulativní paprsek; 5 – tlouk

Poprvé byla kumulativní munice v boji použita Němci v roce 1940 při dobývání pevnosti Eben Emael. Němečtí parašutisté byli vybaveni kumulativními náložemi pro překonávání silných zdí pevnosti. K prvnímu použití kumulativních střel u hlavních zbraní došlo v roce 1941 opět Němci. Britové a Američané zavedli do své výzbroje kumulativní munici s mírným zpožděním. [5]



Obrázek 3 – Princip funkce kumulativní střely [5]

Mezi hlavní výhody kumulativní munice patří její dobré průrazné schopnosti ve srovnání s municí průbojnou a malý vliv rychlosti letu střely na její průraznost. Díky tomu mohly vzniknout ruční protitankové zbraně (například německý Panzerfaust), které vystřelovaly kumulativní střely nízkou rychlostí a na malé vzdálenosti. Jako velmi efektivní se prokázaly hlavně ve městech, kde se pěšáci mohli snadno skrýt a vyřadit nepřátelské tanky, když se dostatečně přiblížily. Největší nevýhoda kumulativní munice spočívá v nutnosti utvoření kumulativního paprsku – je nutné, aby nálož explodovala v tzv. představné vzdálenosti od pancíře. Pokud by došlo k iniciaci příliš brzy, paprsek by se rozptýlil a ztratil část průraznosti. V případě iniciace příliš pozdě (po deformaci duté špičky střely) se nestihne paprsek plně utvořit a opět ztrácí na průraznosti. Aby byla zajištěna iniciace ve správné vzdálenosti od pancíře, mají kumulativní střely delší, dutou špičku (viz obrázek 3 [5]) než střely průbojné a zapalovače, které iniciují nálož s co nejmenším zpožděním po dopadu na pancíř. Další nevýhodou je negativní vliv rotace střely na její průbojné účinky, proto bylo cílem vyvinout kumulativní střely, které by se za letu neotáčely kolem podélné osy. Výsledkem byly nákržky spojené se střelou pomocí ložisek, které při průletu hlavní začaly rotovat, ale samotná střela s náloží rotovat nezačala. Další možností, jak zamezit rotaci těchto střel byla stabilizace křidélek podobně jako u šípových podkaliberních průbojných střel, které se vystřelují z hladkých hlavní. [1], [5]

2 Historický vývoj tanků

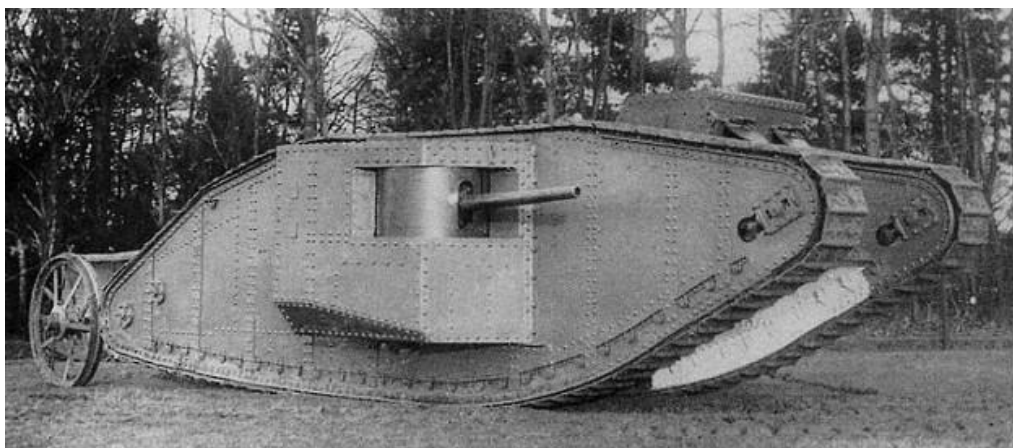
V této kapitole představím několik tanků vybraných národů, které seřadím v rámci jednotlivých národů vždy chronologicky podle roku, kdy byly poprvé nasazeny. Protože vývoj tanků není hlavním tématem této práce, uvedu zde pouze několik málo typů tanků, které měly v rámci vývoje zásadní vliv a na kterých tento vývoj demonstruji. Mimo zde uváděných států vyvíjely své tanky samozřejmě i další státy, například USA, Francie, Švédsko, Japonsko, Itálie, Izrael atd.

2.1 Velká Británie

Mark I

Během první světové války došlo na západní frontě ke stavu označovanému jako „zákopová válka“. Obě bojující strany držely své pozice díky zákopům a dalším obranným prvkům a ani jedna z nich nedokázala překonat obranu nepřítele. Britští důstojníci přišli s nápadem na vytvoření „pozemní lodě“ neboli samohybného dělostřeleckého postavení a v roce 1915 otestovali první prototyp. Označení „tank“ vzniklo zkrácením jednoho z používaných krycích názvů pozemních lodí, a to Peterburg's watter tank. Tanky Mark I byly vyráběny ve verzi dělové a kulometné, u které byla obě děla nahrazena kulomety. [6]

Tanky Mark I byly zpočátku velice nespolehlivé a při jejich prvním bojovém nasazení byl jejich vliv na průběh bitvy převážně psychologický. Němci neměli tušení, že Britové tanky vyvíjejí a ve chvíli, kdy se rachotící stroje začaly vynořovat z mlhy, se někteří němečtí vojáci dokonce dali na útěk. Britským vojákům tanky naopak dodávaly sebedůvěru. Podmínky uvnitř prvních tanků byly ale hrozné. Motor nebyl nijak konstrukčně oddělen od prostoru určeného pro osádku, a to spolu se špatnou ventilací zapříčinilo velké množství zplodin uvnitř tanku, vysokou teplotu (téměř 50 °C) a hluk. Navíc nosili členové osádky kožené helmy a tlusté kožené ochranné oděvy, zabraňující zraněním způsobeným střepinami, které se z pancíře tanku vylamovaly při zásahu slabších plátů (8 mm a méně). Helmy a hluk znemožňovaly jakoukoli hlasovou komunikaci mezi členy osádky a jejich koordinace proto byla na velmi nízké úrovni. Pro komunikaci s velením nebylo na palubě žádné rádio, jedinou možností byli poštovní holubi pěších oddílů. I přes všechny tyto nedostatky prvních tanků velení britské armády věřilo v jejich důležitost a pokračovalo v jejich vývoji. Obrázek 4 [7] zobrazuje prototyp tanku Mark I, v tabulce 1 [6] se pak nachází základní údaje o tanku Mark I. [7]



Obrázek 4 - Prototyp tanku Mark I [7]

Rok výroby	1916	Vyrobeno kusů	75 (dělové verze)
Hmotnost	28 t	Dojezd	32-40 km
Tloušťka pancíře	čelo trupu 12 mm	Maximální rychlost	6 km/h
	boky trupu 10 mm	Ráže děla	57 mm
	střecha trupu 6 mm	Výzbroj primární sekundární	2x 6-pdr QF, d/40
Osádka	8		3 kulometry

Tabulka 1 - Parametry tanku Mark I [6]

Churchill

V meziválečném období a na začátku druhé světové války velení britské armády předpokládalo, že další válka bude probíhat podobně jako boje konce první světové války. Tanky podle něj měly mít za úkol chránit a podporovat pěší jednotky na bojišti při postupu k nepřátelským zákopům a podle toho se nazývaly „pěchotní tanky“. Tento předpokládaný účel měl samozřejmě velký vliv na konstrukci tanků v tomto období a tank Churchill nebyl výjimkou. Při vývoji se kladl důraz na silné pancéřování, které obstojí proti všem známým protitankovým zbraním a na palebnou sílu. Než ale byly tanky Churchill nasazeny, byly vyvinuty lepší zbraně a jeho pancíř již neposkytoval takovou ochranu. Rychlost nebyla považována za nijak zásadní, protože v boji měly tanky vždy postupovat spolu s pěšáky. Vzhled tanku Churchill je z části inspirován tanky z první světové války, protože s nimi sdílí požadavek na schopnost překonávání zákopů. [8]

Při dodání prvních kusů britské armádě, byly tanky Churchill nedokončené a některé konstrukční chyby či špatně zvolené materiály jednotlivých dílů byly opravovány až za provozu, protože velení na nové tanky spěchalo v zájmu zvýšení národní morálky. Než však byly tanky v roce 1942 poprvé použity v boji, byly již spolehlivé. Tanky Churchill byly nejpoužívanějšími tanky britské armády během druhé světové války a objevily se v mnoha různých konfiguracích, označovaných postupně MkI (Mark I) a dále. Obrázek 5 [8] zobrazuje jednu z prvních verzí tanku Churchill MkI, v tabulce 2 [9] se pak nachází základní údaje o tomto tanku. [8]



Obrázek 5 - Churchill Mark I [8]

Rok výroby	1941	Vyrobeno kusů	7 368
Hmotnost	45 t	Dojezd	90 km
Tloušťka pancíře	čelo trupu/věže 102/89 mm	Maximální rychlost	24 km/h
	boky trupu/věže 89/76 mm	Ráže děla	57 mm
	zád' trupu/věže 51/76 mm	Výzbroj primární	6-pdr OQF
Osádka	5	sekundární	2 kulometry

Tabulka 2 - Parametry tanku Churchill MkI [9]

Centurion

Centurion byl bezpochyby největším krokem vpřed ve vývoji tanků ve Velké Británii během druhé světové války. Centurion byl prvním tankem s označením těžký křižník. Vývojově navazoval na řadu křižníků, jejichž označení, korespondující s označením typu lodí, vycházelo z původního britského označení tanků jako pozemních lodí. Křižníky (jak tanky, tak i lodě) jsou schopné samostatného nasazení a vyvíjení křižníkových tanků začalo tankem Cruiser MkI v roce 1934, kdy byl vznesen požadavek na vývoj tanků jiných než pěchotních. Britská vláda však považovala pěchotní tanky a jejich vylepšování za důležitější, takže jejich výroba nad křižníky silně převažovala. Některé z dalších tanků křižníkového typu byly například Covenanter, Crusader nebo Cromwell. Tanky Centurion byly zavedeny do výzbroje těsně po skončení druhé světové války a nasazení se dočkaly pouze v menších, lokálních konfliktech. Byly zavedeny do výzbroje Velké Británie, Austrálie, Kanady, Dánska, Indie, Iráku, Izraele, Jordánska, Kuvajtu, Egypta, Libanonu, Nizozemska, Rakouska, Singapuru, Jihoafrické republiky, Švédska a Švýcarska. Jedná se tedy o globálně nejrozšířenější britský tank. Přesto, že byly tanky Centurion vyvinuty jako těžké křižníky, dnes se častěji řadí do kategorie hlavních bojových tanků (MBT – Main Battle Tank), pro které do značné míry sloužily jako předobrazy. První tanky Centurion (MkI) byly osazeny věžemi válcovanými (viz obrázek 6 [10]), zatímco v další fázi vývoje u verze MkII byly věže válcované nahrazeny litými. V tabulce 3 [10] se nachází základní údaje o tanku Centurion MkI, počet vyrobených kusů však udává celkový počet všech tanků typu Centurion. [10]



Obrázek 6 - Centurion Mark I s válcovanou věží [10]

Rok výroby	1945	Vyrobeno kusů	4 423
Hmotnost	42,5 t	Dojezd	190 km
Tloušťka pancíře	čelo trupu/věže 127/101 mm	Maximální rychlost	35 km/h
	boky trupu/věže 76/51 mm	Ráže děla	76 mm
	zád' trupu/věže 76/51 mm	Výzbroj primární	17-pdr
Osádka	4	sekundární	2-3 kulomety

Tabulka 3 - Parametry tanků Centurion [10]

Challenger 2

Vývoj tanku Challenger 2 byl zahájen za účelem nahrazení tanků Chieftain, které byly spolu s tanky Challenger součástí britské armády na konci 80. let 20. století. Pro tuto náhradu byla mezinárodně vypsána soutěž, které se zúčastnili týmy z Ameriky s vylepšenou verzí tanku M1A1 Abrams, z Německa s vylepšenou verzí tanku Leopard 2A4, z Francie s tankem Leclerc a z britské firmy Vickers Defence Systems, která vyráběla i první Challenger. Návrh firmy Vickers Defence Systems byl nakonec zvolen jako nejvhodnější. Navzdory označení si tanky Challenger a Challenger 2 vybavením nejsou příliš podobné (tyto tanky údajně nesdílí více než 3 % použitých součástek [11]). [12] Tloušťka pancíře tanku Challenger 2 není veřejně známá, proto tento údaj v popisu tanku vynechám. Zřejmě se jedná o pancíř typu Dorchester, což je druhá generace pancíře Chobham (viz dále). Obrázek 7 [12] zobrazuje tank Challenger 2, v tabulce 4 [11] se pak nachází základní údaje o tomto tanku. [13]



Obrázek 7 - Challenger 2 [12]

Rok výroby	1993	Vyrobeno kusů	446
Hmotnost	62,5 t	Dojezd	550 km
Tloušťka pancíře	–	Maximální rychlost	59 km/h
		Ráže děla	120 mm
		Výzbroj primární	ROF L30A1 55
Osádka	4	sekundární	2 kulomety

Tabulka 4 - Parametry tanku Challenger 2 [11]

2.2 Německo

A7V

V první světové válce byly německé tanky méně vyspělé než tanky britské nebo francouzské. Důvodem nebyla jen skutečnost, že Britové byli první, kdo tank vyrobil, ale i postoj německých důstojníků, kvůli kterým začaly aktivní práce na vývoji německého tanku se značným zpožděním. O tanku uvažovali němečtí důstojníci jako o pohyblivé pevnosti, což vysvětluje hranatý tvar tanku a důraz na jeho pancéřování. Ze stejného důvodu nebyla velmi špatná průchodivost terénem považována za velký problém. Tank A7V byl na pevném podkladu rychlejší než britský Mark I, ale v terénu za britským protějškem zaostával. Osádky těchto tanků dokonce často musely dlouho hledat sjízdný terén, nebo tank vyprošťovat. Obrázek 8 [14] zobrazuje repliku tanku A7V, v tabulce 5 [14] se pak nachází základní údaje o tomto tanku. [14]



Obrázek 8 - Replika tanku A7V [14]

Rok výroby	1918	Vyrobeno kusů	20
Hmotnost	30 t	Dojezd	40 km
Tloušťka pancíře	čelo trupu 30 mm	Maximální rychlost	12 km/h
	boky trupu 20 mm	Ráže děla	57 mm
	–	Výzbroj primární	Norfeld
Osádka	16-19	sekundární	6 kulometů

Tabulka 5 - Parametry tanku A7V [14]

Tiger

Návrh tanku navazuje na řadu těžkých tanků vyvinutých za druhé světové války v Německu. Např. D.W. (Durchbruchswagen – průlomové vozidlo) nebo prototypy VK 30.01 a VK 36.01. U zkratky VK není jasné, zda zkracuje Vollkettenfahrzeuge (celopásové vozidlo), Vollkettenkraftfahrzeuge (celopásové motorové vozidlo), nebo Versuchskonstruktion

(zkušební návrh). [15] Návrhy na nový těžký tank předložily firmy Henschel a Nibelungenwerke, zastoupená profesorem Porsche. Verze obou firem si byly velice podobné, protože během navrhování se vycházelo z již přibližně známých tvarů věže, kterou měla vyrábět firma Krupp. Při testování byla jasně lepší verze firmy Henschel, která svého oponenta předčila ve všech testech, kromě maximální rychlosti v terénu. Obrázek 9 [16] zobrazuje tank Tiger, v tabulce 6 [16] se pak nachází základní údaje o tomto tanku. [16]



Obrázek 9 - Panzerkampfwagen VI Tiger (H) [16]

Rok výroby	1942	Vyrobeno kusů	1 347
Hmotnost	57 t	Dojezd	100 km
Tloušťka pancíře	čelo trupu/věže 100/100 mm	Maximální rychlost	45 km/h
	boky trupu/věže 60/80 mm	Ráže děla	88 mm
	zád' trupu/věže 80/80	Výzbroj primární	KwK 36 L/56
Osádka	5	sekundární	2 kulomety

Tabulka 6 - Parametry tanku Panzerkampfwagen VI Tiger (H) [16]

Leopard 2

Podobně jako u tanků Challenger a Challenger 2, není Leopard 2 pouhým vylepšením staršího tanku Leopard 1. Na vývoji tohoto stroje v 60. letech spolupracovaly týmy z USA a Německa, jejichž cílem bylo vyvinout nejlepší tank na světě. Mělo se jednat o MBT o hmotnosti kolem 50 tun. V průběhu vývoje se však ukázalo, že americké i německé prototypy jsou těžší, než bylo vyžadováno a týmy se nedokázaly dohodnout na způsobu nápravy. V lednu 1970 byla proto tato spolupráce ukončena, ale oba týmy pokračovaly na dalším vývoji tanku odděleně. Američané na jeho základě vyvinuli tank M1 Abrams a Němci po více než 25 prototypech tanku Leopard 2. Od doby zavedení tanku Leopard 2 do německé armády je stále vylepšován. [17]

Postupně se vývojové stupně značí Leopard 2A1, 2A2 atd. Uvádí se, že aktuálně je používán Leopard 2A7+. Ochranu tanku zajišťuje kompozitní pancíř (viz dále), který poskytuje ekvivalentní ochranu jako 960 mm plát válcované homogenní oceli. Obrázek 10 [17] zobrazuje tank Leopard 2A4, v tabulce 7 [18] se pak nachází základní údaje o tanku Leopard 2. [18]



Obrázek 10 - Leopard 2A4 [17]

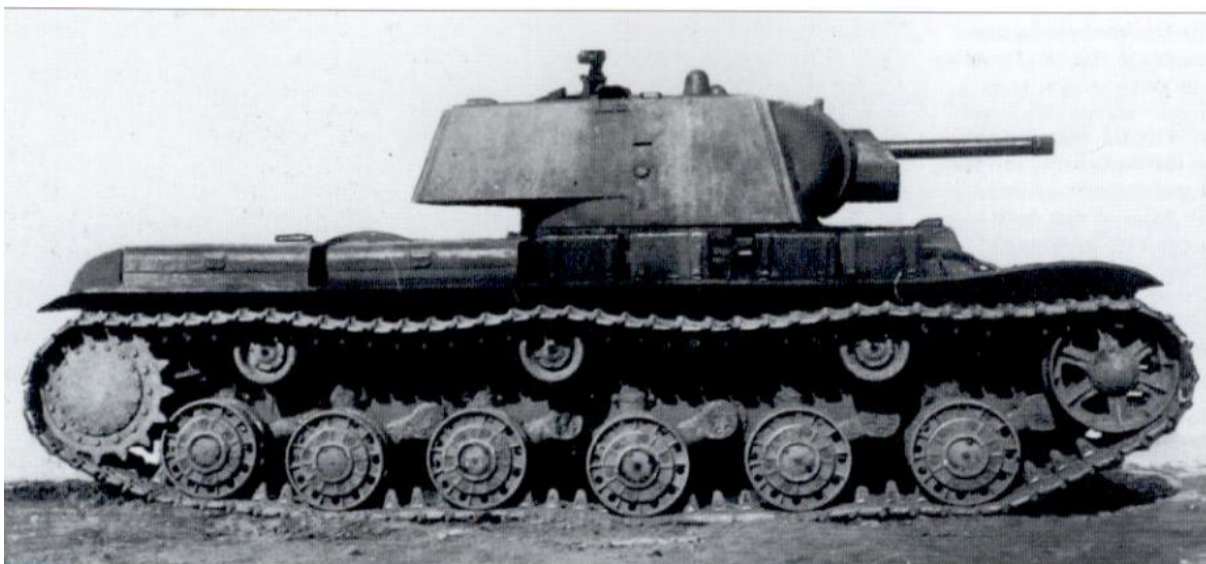
Rok výroby	1980	Vyrobena kusů	3 480
Hmotnost	62 t	Dojezd	550 km
Tloušťka pancíře	–	Maximální rychlost	73 km/h
		Ráže děla	120 mm
		Výzbroj primární sekundární	Rheinmetall L55 2 kulometů
Osádka	4		

Tabulka 7 - Parametry tanku Leopard 2 [18]

2.3 Sovětský svaz/Rusko

KV-1

U tanků vyvíjených v carském Rusku a následně v Sovětském svazu, došlo k velkému úspěchu až u středního tanku T-34 a těžkého tanku KV-1. Dřívější těžké tanky z období před druhou světovou válkou byly v Rusku zastoupeny převážně modelem T-35, kterého bylo do roku 1939 vyrobeno 61 kusů. Tento tank měl jednu hlavní a dvě vedlejší věže, pro maximalizaci palebné síly. Návrhy nových těžkých tanků v průběhu druhé světové války zahrnovaly jak tanky s více věžemi (některé modely jich měly mít až 5), tak i tanky s jedinou věží. Na nové tanky byl kladen požadavek dobré ochrany, který byl u těžkého tanku ještě zdůrazňován. Z tohoto důvodu, spolu s nepraktičností využívání více věží, byl vybrán jako nejvhodnější návrh tanku KV, protože namísto těžkého podstavce pod hlavní věží, která musela být vyvýšena nad ostatními, mohla být hmotnost modelu s jedinou věží využita lépe pro jeho pancéřování. V době svého nasazení v boji proti invazi německé armády, měly německé útočící tanky Pz IV přední pancíř silný 30 mm, což odpovídalo tloušťce dna korby tanku KV-1, v přímém boji byly ruské stroje mnohem lepší, na druhou stranu měly početní nevýhodu, hůře trénované osádky a nepříliš prakticky rozmístěné vnitřní vybavení. Obrázek 11 [19] zobrazuje prototyp tanku KV-1, v tabulce 8 [19] se pak nachází základní údaje o tomto tanku. [19]



Obrázek 11 - Tank KV-1 [19]

Rok výroby	1939	Vyrobena kusů	5 218
Hmotnost	48 t	Dojezd	250 km
Tloušťka pancíře	čelo trupu/věže 75/95 mm	Maximální rychlost	35 km/h
	boky trupu/věže 60/75 mm	Ráže děla	76 mm
	zád' trupu/věže 75/75	Výzbroj primární	F-32
Osádka	5	sekundární	3 kulometry

Tabulka 8 - Parametry tanku KV-1 [19]

T-34

Dřívější modely, například T-26, T-27, T-38, BT-2 nebo BT-5, byly sice vyráběny ve velkém množství, ale jejich efektivita byla na nízké úrovni, protože od první světové války se pancéřování téměř nezměnilo. Při vyvíjení tanku T-34 vycházeli Rusové ze zkušeností z tankových bojů ve Španělsku a Japonsku na konci 30. let, ve kterých vyšla najevo právě nedostatečnost pancéřování ruských tanků proti soudobým zbraním. Pro vývoj svého nového tanku tedy přijali Rusové požadavek na „neprůstřelný pancíř“ a spolu s dalšími vylepšeními měl být tank T-34 nejlepším tankem v době, kdy začala jeho produkce. Rusové předpokládali rychlý vývoj nepřátelské bojové techniky a původní kanón nahradili velice brzy dělem ráže 76 mm, díky čemuž si děle udrželi prvenství před ostatními tanky. Přesto, že původních tanků T-34 bylo vyrobeno pouze 10 kusů s 57 mm dělem, celkový počet vyrobených tanků typu T-34 byl 84 070 – Rusové totiž přeznačili jeho nástupce podle ráže montovaných děl na T-34/76 a T-34/85, avšak konstrukčně se příliš nelišili. Tank T-34 díky svojí efektivitě posunul centrum tankového vývoje z Británie a Francie na východ – do Ruska a Německa, které na nové trendy přistoupilo nejrychleji. Obrázek 12 [20] zobrazuje tank T-34, v tabulce 9 [20] se pak nachází základní údaje o tomto tanku. [20]



Obrázek 12 - Tank T-34 Model 1942 [20]

Rok výroby	1941	Vyrobeno kusů	10
Hmotnost	26 t	Dojezd	240 km
Tloušťka pancíře	čelo trupu/věže 45/45 mm	Maximální rychlost	55 km/h
	boky trupu/věže 40/45 mm	Ráže děla	57 mm
	zád' trupu/věže 40/45	Výzbroj primární	ZiS-4
Osádka	4	sekundární	2 kulometry

Tabulka 9 - Parametry tanku T-34 [20]

T-14 ARMATA

Tank ARMATA je dalším v řadě ruských tanků, které mají být lepší než jejich konkurence. Jedná se o tank vybavený nejnovějšími technologiemi jak v oblasti palebné síly, tak v oblasti pancéřování. Tank má být osazen věží bez osádky s automatickým systémem nabíjení děla s kapacitou 32 nábojů. Dělo tanku má hladký vývrt hlavně a je také schopné střílet laserem naváděné rakety s dostřelem 7-12 km. Tank T-14 byl poprvé představen veřejnosti na vojenské přehlídce 9. 5. 2015 v Moskvě a první dodávka těchto tanků ruské armádě byla plánována také na rok 2015. Do roku 2020 se předpokládá výroba 2 300 těchto MBT. Pancéřování tanku T-14 tvoří kompozitní pancíř spolu s aktivním systémem ochrany „Afganit“, dynamickým pancéřováním „Malachit“ a dalším ochranným systémem před útoky shora. Konkrétní hodnoty tloušťky pancíře ani jeho ekvivalentní hodnoty RHAe nejsou známy. Obrázek 13 [21] zobrazuje tank T-14 ARMATA, v tabulce 10 [21] se pak nachází základní údaje o tomto tanku. [21], [22]



Obrázek 13 - T-14 ARMATA [21]

Rok výroby	2015	Vyrobena kusů	20 (testovací série)
Hmotnost	48 t	Dojezd	500 km
Tloušťka pancíře	–	Maximální rychlost	90 km/h
		Ráže děla	125 mm
		Výzbroj primární	2A82-1M
Osádka	3	sekundární	2 kulometry

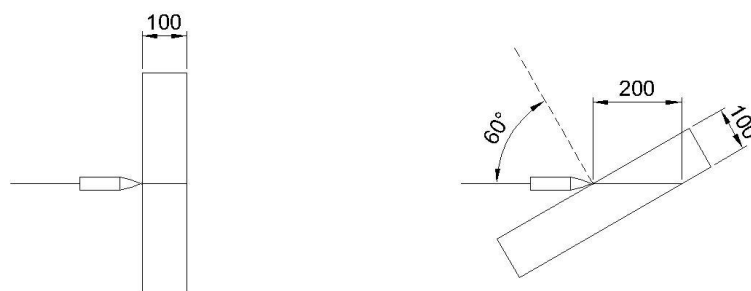
Tabulka 10 - Parametry tanku T-14 ARMATA [21]

3 Tankový pancíř

Pancíř je prvek pasivní ochrany osob nebo majetku, jehož cílem je udržet ničivý potenciál zbraně mimo chráněný prostor. Vývoj tankových pancířů započal během první světové války, kdy se Britové nasazením tanků snažili vyřešit problém tzv. zákopové války. První tanky disponovaly ocelovým homogenním pancířem silným až 20 mm, takže na bojišti byly v době svého nasazení téměř nezranitelné běžnými pěchotními zbraněmi. [23] Velice brzy se však vyvinuly prostředky pro překonání těchto pancířů, což vyžadovalo jejich vylepšení. Toho se nejdříve dosahovalo zesílením pancíře v místech s největší pravděpodobností zásahu. Standardně byla proto lépe pancéřovaná přední strana korby a věže než boční/zadní strany tanku. Dno tanku a střecha korby i věže byly ze stejného důvodu pancéřovány velmi slabě. Takto nerovnoměrné rozložení tloušťky pancíře na různých místech tanku je zapříčiněno hlavně snahou konstruktérů o dosažení co nejmenší hmotnosti, ale dostatečné ochrany. Přílišná hmotnost pro tank znamená snížení celkové pohyblivosti tanku, problémy s výrobou dostatečně výkonné pohonné jednotky, komplikace s přepravou tanku na/z bojiště apod.

Základní parametry, které určují efektivitu pancíře jsou jeho tloušťka, tvrdost, houževnatost a mez pevnosti. S tloušťkou pancíře (nominální) úzce souvisí jeho tzv. efektivní tloušťka (viz obrázek 14). Je založená na jednoduchém geometrickém principu, kdy střela dopadající pod určitým dopadovým úhlem (úhel, který svírá podélná osa střely s normálou k rovině pancíře) musí prorazit větší množství materiálu, než je nominální tloušťka pancíře. Sklopeného pancíře bylo často využíváno, z důvodu šetření materiálu, a tedy i snížení hmotnosti. Snížení hmotnosti však nebylo tak zásadní, jak by se mohlo na první pohled zdát, protože sklopený pancíř musí být delší, aby pokryl stejně vysoký prostor. U sklopeného pancíře je zároveň větší šance, že se střela od pancíře odrazí. Pro efektivní tloušťku pancíře t_{ef} o nominální tloušťce t , na který dopadá střela pod úhlem φ , platí:

$$t_{ef} = \frac{t}{\cos \varphi}$$



Obrázek 14 - Princip efektivní tloušťky pancíře

Za nejlepší současný ocelový pancíř je považován ULTRAFORT 6355, označovaný jako „intelligent shield“ (v překladu inteligentní štít). Vyrábí jej firma Edelstahl Witten-Krefeld GmbH a jedná se o pancíř z precipitačně vytvrditelné oceli, která je vyráběna s nízkou tvrdostí, dobrou tvářitelností za studena a skvělou svařitelností. K vytvrzení dochází stárnutím materiálu po jeho zpracování. [24], [25]

Během druhé světové války se začala používat kumulativní munice, jejíž průbojnost byla příliš vysoká na to, aby šlo dále zlepšovat ochranu zvětšováním tloušťky pancíře. Kumulativní munice se nadále zlepšovala i po druhé světové válce, například průbojnost novějších kumulativních raket z padesátých let dosahovala až 800 mm. Takto silný plát oceli váží více než $6\,000\text{ kg/m}^2$ a pro ochranu tanku je proto v praxi nepoužitelný. Prvním způsobem, jak se tanky chránily před účinky kumulativní munice, bylo zavedení představného pancíře. Jednalo se o slabé pláty zavěšené kolem věže nebo korby tanku, které přinutily kumulativní nálož střely explodovat ve vzdálenosti větší než představné, takže kumulativní paprsek již neměl dostatečnou energii při dopadu na základní pancíř pro jeho probití. Dalším vývojem kumulativní munice a zavedením naváděných protitankových raket s kumulativními hlavicemi, které dokázaly proniknout představným pancířem a explodovat až při dopadu na hlavní pancíř, přestalo představné pancéřování poskytovat dostatečnou ochranu proti kumulativní munici. Z tohoto důvodu bylo třeba hledat ochranu proti této munici jinde a konstruktéři se zaměřili na vývoj pancířů z jiných materiálů. [26]

3.1 Rozdělení pancířů tanků

Pancíře lze dělit podle mnoha různých kritérií, v této podkapitole uvedu rozdělení pancířů podle jejich účelu a chemického složení.

Podle účelu:

Toto dělení, uvedené v tabulce 11 [27], bere v úvahu účel pancíře – slabé pancíře jsou určeny pro zastavení střelby ze zbraní malých ráží, proto mají vysokou tvrdost, zatímco silné pancíře mají odolávat střelbě z větších ráží, a proto se vyrábí s nižší tvrdostí a vyšší houževnatostí. [27] Střely malých ráží mají obvykle menší kinetickou energii než střely větších ráží, je proti nim proto efektivnější tvrdší pancíř, o který se často při dopadu roztrhne.

Druh pancíře	Typ pancíře	Tloušťka [mm]	Pevnost [MPa]	Tvrdost [HB/HV/HRC]
pancíř vysoké tvrdosti	slabý	5-15	1500	do 500/550/50
pancíř střední tvrdosti	střední	do 80	1000	do 350/370/38
pancíř nízké tvrdosti	silný	přes 200	900	do 250/270/25

Tabulka 11 - Rozdělení pancířů tanků podle tloušťky a tvrdosti [27]

Podle chemického složení:

Homogenní pancíře – již první tanky, které se objevily v první světové válce, měly homogenní ocelové pancíře. Tento základní typ pancíře je tvořen plátem z jediného materiálu, který má ve všech místech stejné chemické složení. Homogenní pancíře je možné podle tepelného zpracování dále dělit na:

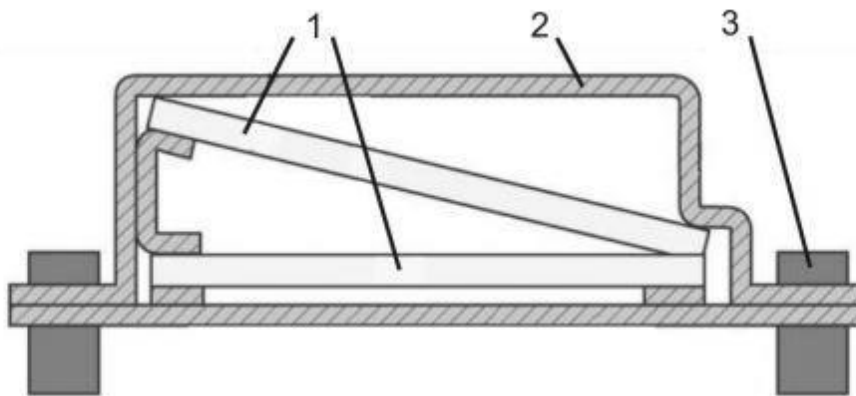
- Kalené (martenzitické, sorbitické) – tvrdší martenzitické (okolo 500 HB) či měkčí sorbitické (cca 300 HB) struktury se dosahuje tepelným zpracováním. Pro získání martenzitu se po zakalení ocel popouští při nízkých teplotách do 250 °C, pro získání sorbitické struktury se popouští při teplotách vyšších. Sorbitické pancíře dříve jsou typické pro tanky, protože díky svojí houževnatosti dobře brání průniku střel velkých ráží.
- Povrchově kalené – sorbitický pancíř se povrchově zakalí, čímž na jeho přední straně vznikne vrstva martenzitu, která je tvrdší a křehčí než sorbitická struktura jádra. Takto zpracovaný pancíř vhodně kombinuje vlastnosti martenzitické i sorbitické struktury, ale pro vysokou cenu a náročnost procesu výroby se využívá pouze omezeně.
- Termomechanicky zpracované – v průběhu kalení dochází k mechanickému tváření austenitu. Využívá se vlivu deformace austenitu na průběh přeměny, díky kterému dochází k podstatnému zvýšení mechanických hodnot, především meze kluzu. Pro tyto pancíře se používají zejména konstrukční oceli se středním obsahem uhlíku přibližně 0,4 %. [27]

Heterogenní pancíře – tyto pancíře se skládají z více vrstev materiálů o různém chemickém složení. Pro popis heterogenních pancířů se často využívají i pojmy kompozitní, vrstvené, sendvičové apod. Přední vrstva pancíře bývá z kalené, vysokopevnostní oceli a jejím účelem je otupit hrot střely a klást co největší odpor vůči jejímu proniknutí do dalších vrstev. Vrstvy prostředního pancíře omezují přenos vibrací, rázové vlny či deformace z předního pancíře na zadní. Jejich dalším cílem je narušení rovnováhy napětí ve střele (hlavně v případě šípové podkaliberní) změnou pevnosti prostředí, které vede k roztržení střely na střepiny. Pro tyto vrstvy se většinou využívá kombinace měkkých materiálů (např. plasty, pryskyřice, tvrzená guma apod.) s dalšími materiály (jako jsou keramika, cermety, uhlíková vlákna, sypké materiály, vzduchová mezera, lehké kovy atd.). Zadní pancíř je opět ocelový, ale je houževnatější a měkčí než plát přední, aby zamezil vytržení části pancíře do vnitřního prostoru tanku (tzv. Hopkinsův efekt). Bylo vyvinuto mnoho druhů heterogenních pancířů, které se často spíše specializují na konkrétní hrozbu namísto snahy o univerzální ochranu. [27] Heterogenní pancíře se dělí na:

- Kovové vrstvené pancíře – nejčastěji se skládají ze dvou nebo tří vrstev kovových metalurgicky spojených vrstev. Tyto pancíře se vyrábějí litotvářecí a ROW technologií. V případě třívrstevných se prostřední vrstva vyznačuje vysokou plasticitou. Kovové vrstvené pancíře lze dále dělit podle tepelného zpracování na:
 - Kalené vzduchem – používají se středně legované oceli s obsahem legujících prvků 8-10 %. Po válcování je plech zakalen proudem vzduchu, a poté několikrát popuštěn při teplotách 540-580 °C. Výsledná tvrdost vnější vrstvy se pohybuje v rozmezí 660-690 HBW, tvrdost vnitřní vrstvy v rozmezí 600-620 HBW. Výsledná tvrdost závisí na konkrétní teplotě popouštění.

- Termomechanicky zpracované – používají se nízkolegované oceli s obsahem legujících prvků do 6 %. Pro vnější vrstvu se používá nástrojová ocel, pro vnitřní ocel nástrojová nebo pancéřová. Požadovaných fyzikálních vlastností se dosahuje termomechanickým zpracováním (tj. kombinované tepelné a mechanické zpracování pro získání synergických efektů, jako například zlepšení pevnosti bez ztráty houževnatosti [28]), po kterém dosahuje tvrdost vnější vrstvy hodnot 630-680 HBW a tvrdost vnitřní vrstvy 530-580 HBW.
- Martenziticky vytvrditelné – využívají se vysokolegované oceli s obsahem legujících prvků 30-40 %. Martenziticky vytvrditelné pancíře se vyrábí obvykle jako dvouvrstvé, dobře tváritelné i svařitelné a mají dobrou houževnatost. Požadované tvrdosti 495-616 HBW se dosahuje vytvrzováním při teplotách 470-520 °C. Příkladem je pancíř ULTRAFORT 6355.
- Pancíře s nekovovými složkami – o tomto typu blíže pojednává kapitola 2.2 [29]

Reaktivní pancéřové systémy – jedná se o typ přídavného pancíře namontovaný na nejohroženější části pancíře tanku, který je tvořen kovovými schránkami obsahujícími výbušninu, nejčastěji trhavinu (viz obrázek 15 [29]). Někdy jsou také reaktivní pancéřové systémy označovány jako dynamická ochrana. Primárně poskytují tyto pancéřové systémy ochranu proti kumulativní munici. Při dopadu střely a odpálení kumulativní nálože dojde k iniciaci výbuštiny ve schránce aktivního pancíře kumulativním paprskem střely. Exploze trhavin reaktivního pancéřování vymrští kovovou schránku proti paprsku střely. Pohyb desky schránky vůči paprsku jej nutí řezat tuto schránku namísto pancíře, čímž se spotřebuje značná část energie paprsku ještě před dopadem na vlastní pancíř. [30] Odpovědí na reaktivní pancéřování bylo zavedení tzv. tandemových kumulativních hlavic, které působí jako dvě kumulativní střely dopadající na stejné místo. První střela aktivuje schránku s výbušninou a druhá má již volnou cestu k základnímu pancíři. Nevýhodou reaktivního pancéřování je nebezpečí pro pěší jednotky případně civilisty v dosahu výbuchu trhavin, není tedy univerzálně použitelné a vyrábí se tak, aby jej bylo možné na tank přidat a opět jej sejmut. [31] Velmi významného úspěchu dosáhl mimo jiné Vojenský technický ústav výzbroje a munice ve Slavičíně, kde bylo vyvinuto reaktivní pancéřování s účinkem i proti podkaliberním střelám. [29]



Obrázek 15 - Schránka základního typu reaktivního pancéřování [29]

1 – destičky trhavin; 2 – kovový obal; 3 – prvek uchycení

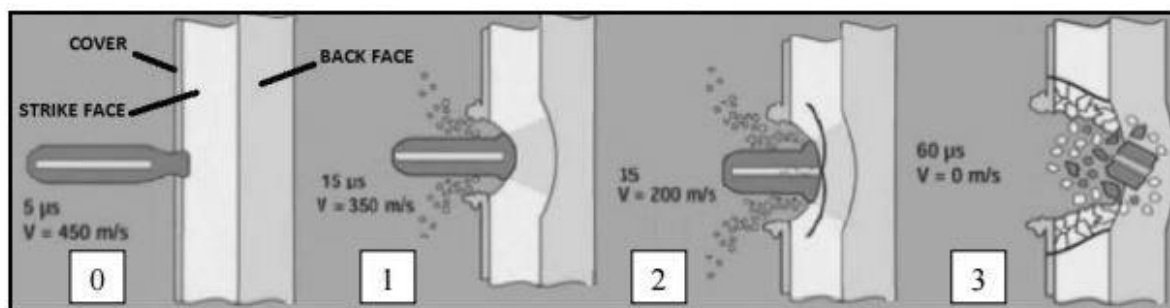
3.2 Kompozitní tankové pancíře

Kompozitní pancíře vznikaly hlavně jako odpověď na kumulativní munici, ale také se snažily vyřešit problém s ocelí, u které se do značné míry navzájem vylučují tvrdost a houževnatost. Moderní kompozitní pancíře kombinují vlastností tvrdých materiálů (nejčastěji keramiky) a materiálů tvárných (polymerů). Keramika bývá zalévána do polymeru, čímž se využívá její vysoká tvrdost při dopadu střely i dobrá schopnost pohlcení nárazů polymerem. Kompozitní pancíře dále obsahují ocelový obal, ve kterém jsou keramika a polymer uzavřeny. Vnější ocelový plát je tepelně zpracován na vysokou tvrdost, zatímco vnitřní je houževnatější.

První verzi kompozitního pancíře použili Američané již v průběhu druhé světové války u některých tanků Sherman. Jednalo se o vrstvu křemene (SiO_2) mezi dvěma ocelovými pláty, která oslabovala pronikající kumulativní paprsek. V sériové výrobě byla vrstva křemene poprvé použita u sovětských tanků T-64A v roce 1969. [32]

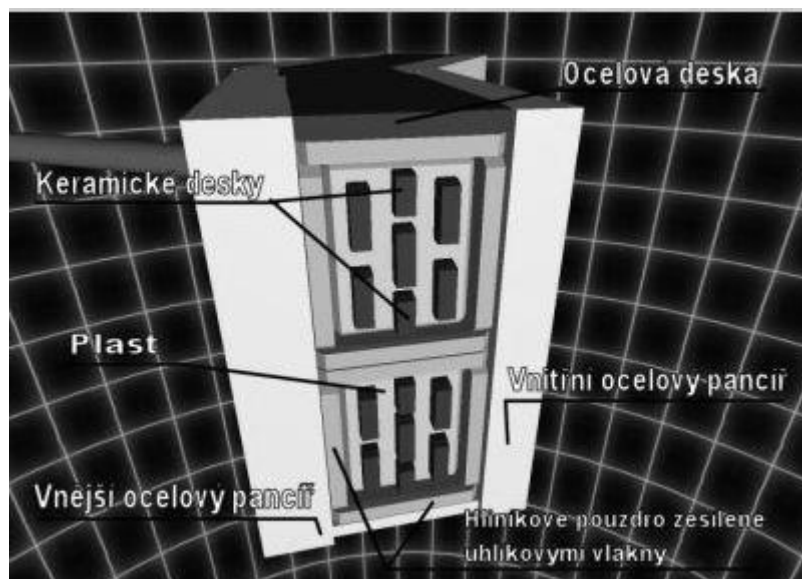
Podobně jako u ocelí je proces penetrace keramické desky velice komplexní. Tento proces se často rozděluje na tři fáze (viz obrázek 16 [24]):

1. deformace projektilu a vznik trhlin v keramice v důsledku rázové vlny,
2. tříštění keramiky a pohyb některých jejích úlomků proti pohybu střely,
3. deformace, popřípadě penetrace podkladové desky, na které je keramická deska připevněna. [24]



Obrázek 16 - Fáze průniku projektilu keramickým kompozitem a úlohy vrstev [24]

Obrázek 6 zobrazuje fáze pronikání projektilu pancířem určeným pro vrtulníky, neshoduje se tedy plně s konstrukcí tankového pancíře. Pro vysvětlení funkce jednotlivých vrstev je však dostačující. Na obrázku jsou znázorněny cover (potah), back face (vnitřní strana) a strike face (vnější úderová vrstva) a jednotlivé fáze popsané výše – fáze nula v obrázku odpovídá okamžiku dopadu střely na pancíř. Vnější úderovou vrstvu tvoří keramický materiál, který při dopadu střely díky své výrazně vyšší tvrdosti projektil deformuje, někdy se o něj střela dokonce úplně roztříští. V obou případech dopadající střela ztrácí velkou část své průbojnosti. Protože je keramika zároveň křehká, dochází při dopadu střely k iniciaci a šíření trhlin i v keramické vrstvě. V tomto případě, kdy je úderová vrstva přilepena k vnitřní straně pancíře, pohlcuje lepidlo nárazovou vlnu a zmírňuje přechod mezi vysoce tvrdou a houževnatou vrstvou. V případě tankových pancířů plní tuto funkci polymerní materiál, do kterého je keramika zalita. Potah u tohoto leteckého pancíře má za úkol hlavně udržovat jeho celistvost po zásahu a zachycovat úlomky střely a keramiky, na jeho ochranných schopnostech se podílí pouze minimálně. Tankové pancíře místo potahů používají další ochrannou vrstvu z tvrdé oceli. [24]



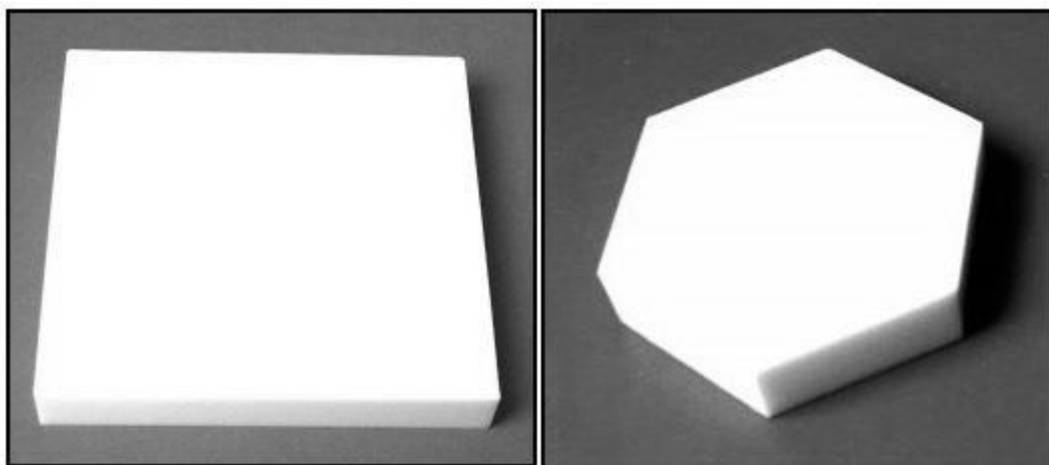
Obrázek 17 - Schéma pancíře Chobham [26]

Pancíř typu Chobham byl vyvinut Brity v 60. letech 20. století a jeho přesné složení stále nebylo oficiálně odtajněno. Na schématu (viz obrázek 17 [26]) je zobrazena přibližná konfigurace jednotlivých vrstev kompozitu. Uvádí se, že se zde navíc vyskytuje hliníkové pouzdro, které posiluje balistickou ochranu. Podle Langeru se navíc přidává na vnitřní stranu vrstva nehořlavé izolace. [32] [29]

Nejčastěji se pro výrobu kompozitních pancířů používá keramika na bázi Al_2O_3 , SiC , B_4C a jejich kombinace. Tyto materiály se ve formě malých zrn lisují do forem a následně se při odpovídajících teplotách slinují. Lisovací tlaky se pohybují v rozmezí 100-300 MPa. Velikost zrn má zásadní vliv na výsledné mechanické vlastnosti keramiky. Například keramický materiál s označením ALOCOR 100 od německé společnosti CeramTec má zrnitost menší než 100 nm a tuhost 405 GPa. Z důvodu dobré cenové dostupnosti je nejpoužívanějším materiálem slinutý oxid hlinitý, ostatní výše zmíněné keramické materiály jsou využívány spíše pro pancéřování vrtulníků, protože mají menší hustotu, ale jsou výrazně dražší. [24]

Protože je keramika křehká a trhliny se v ní šíří po nárazu na velké vzdálenosti, používají se v kompozitních pancířích keramické destičky, a to nejčastěji čtvercového či pravidelně šestiúhelníkového tvaru, poskládané vedle sebe na celé ploše kompozitního pancíře (viz obrázek 18 [24]). Vedle těchto tvarů se také používají kuličky, válečky, čočky a další oválné útvary, které se předřazují před čtvercové/šestiúhelníkové destičky a mají za úkol zvýšit dopadový úhel projektilu. Dosud stále není jasné, zda je z hlediska balistické ochrany výhodnější používat více malých, či méně velkých keramických destiček. Teoreticky je při použití větších destiček při dopadu projektilu poškozena větší část pancíře, pokud se trhliny šíří až k okraji destičky. Je tedy větší šance, že další střela zasáhne poškozenou (roztříštěnou) destičku, která již nebude schopna efektivně střelu zastavit. Naopak při použití více menších destiček se na ploše bude nacházet více mezer a hran destiček, které jsou slabšími místy než plocha destičky. [24]

U kompozitních pancířů se stále častěji také využívají úplety z vláknitých materiálů, například kevlaru. Tyto úplety se umísťují na vnitřní stranu pancířů.



Obrázek 18 - Čtvercová a šestiúhelníková keramická destička pro kompozitní pancíř [24]

4 Další materiály vyvíjené/používané pro pancéřování

Vývoj v oblasti materiálů pro pancéřování zahrnuje jak testování nových materiálů, tak snahy o vylepšování těch stávajících. Vylepšování se týká nejen kovových a nekovových materiálů používaných u kompozitních pancířů, ale i materiálů, používaných na výrobu homogenních pancířů. V této kapitole uvedu několik příkladů vyvíjení materiálů, které jsou pro pancíře vhodné.

V 90. letech 20. století se Američané zaměřili na vylepšení pancéřové oceli, která se od konce 2. světové války téměř nezměnila. Zvýšení balistické odolnosti pancéřové oceli bylo dosaženo optimalizací chemického složení oceli. Malým zvýšením obsahu niklu bylo dosaženo dobré kujnosti a houževnatosti, zvýšením obsahu manganu a molybdenu byla zvýšena tvrdost. Byla navržena dvě různá složení vylepšené pancéřové oceli (IRHA – Improved Rolled Homogeneous Armor), která dosahovala tvrdostí 40 a 48 HRC. Jako vhodnější pro použití na pancéřování vozidel byla z těchto dvou možností určena slitina s tvrdostí 40 HRC. Slitina tvrdší poskytuje lepší ochranu při využití pro přídavné pancéřování neboli pláty přidané přímo na základní pancíř. Obrobitelnost a svařitelnost IRHA o tvrdosti 40 HRC je srovnatelná se standardní pancéřovou ocelí. [33]

Na začátku 90. let nahradili Američané keramické destičky ve snaze o zlepšení ochranných schopností pancíře tanku M1A1 Abrams deskami z ochuzeného uranu. Tímto krokem došlo ke značnému zvýšení odolnosti tanku, ale také ke zvýšení jeho hmotnosti. [32] Tato úprava pancíře výrazně zvýšila jeho odolnost proti střelám využívajícím kinetickou energii. Během války v Perském zálivu si mohly takto opancéřované tanky dovolit přímý souboj s nepřátelskými tanky, aniž by se vystavily příliš velkému riziku poškození. Během tohoto válečného konfliktu bylo poškozeno pouze 18 tanků Abrams, z toho ani jeden nepřátelskou palbou (většinou šlo o poškození způsobené minami). V době války v zálivu činila ekvivalentní tloušťka pancíře věže tanku M1A1 Abrams 600-680 mm proti průbojným střelám a 1080-1320 mm proti střelám kumulativním.

Kromě pancířů ocelových byly vyvíjeny i pancíře z jiných materiálů, tento vývoj si většinou kladl za cíl nahrazení oceli lehčím materiálem o stejné nebo lepší balistické odolnosti. Nutnost takového nahrazení pramení z neustálého soupeření efektivit pancířů a protipancéřových zbraní. Není prakticky možné odpovídat na nové, lepší typy munice pouhým zesilováním ocelového plátu, protože jeho hmotnost by nakonec znemožnila tank využívat.

Již od konce 50. let byl ve Spojených státech amerických vyvíjen pancíř ze slitin titanu. Po odstranění problémů s křehkým chováním z důvodu velkého množství nečistot (C, O₂, H₂, N₂) dosahoval pancíř ve srovnání s homogenním ocelovým lepší efektivitě při stejné hmotnosti. Další velkou výhodou titanových slitin je velmi dobrá odolnost vůči korozi. Hlavní nevýhodou je vysoká reaktivita titanu s atmosférickými plyny při teplotách přesahujících 400 °C, což značně komplikuje svařování jeho slitin. Svařování je třeba provádět v ochranné atmosféře (Ar, Ar + He). Reálné využití tento pancíř našel až v 90. letech, kdy došlo k výraznému snížení cen titanu. Byl použit například ve věžích tanku M1 Abrams. [34]

Ocel lze v pancíři nahradit také slitinami hliníku. Například slitina 5083 (deformačně vytvrzená) s pevností v tahu 270-350 MPa má vyšší odolnost proti střepinám dělostřeleckých granátů než ocel. Slitina 5083 je dobře svařitelná a zvyšuje tuhost konstrukce pancéřování oproti oceli při stejné plošné hmotnosti v důsledku téměř trojnásobné tloušťky. Další možností je slitina 7039 tepelně vytvrditelná s pevností až 485 MPa a tvrdostí 150 HB. Její relativní

účinnost proti průbojným střelám je vyšší než u ocelí do tvrdosti 380 HB a slitiny 5083. Nevýhodami slitiny 7039 je nízká korozivzdornost pod napětím a obtížná svařitelnost. Stejně jako ocelové, mohou být i hliníkové pancíře vrstvené, které ale již nejsou tak efektivní jako kombinace tvrdé vnější ocelové vrstvy a vnitřní hliníkové vrstvy (slitina 5083). [35]

5 Současný směr vývoje pancířů

Jak již bylo zmíněno výše, s postupným vývojem lepších typů protipancéřové munice se v historii tanky stávaly čím dál těžší, kvůli požadavkům na stále silnější vrstvy pancíře. S takovýmto nárůstem hmotnosti úměrně klesala jejich pohyblivost a rostla jejich velikost. Oba tyto faktory ale mají negativní vliv na účinnost tanků, mj. přispívají ke snazšímu zpozorování, zaměření a zasáhnutí tanku nepřítelem. V posledních letech se vývoj pancířů ubírá spíše opačným směrem ve snaze zvýšit mobilitu tanků nalezením lepších materiálů, které poskytnou dostatečnou úroveň ochrany i při menší celkové hmotnosti pancéřování. Mimo vyvíjení lepších pancířů se hledají i další způsoby ochrany tanků, souhrnně nazývané jako systémy aktivní ochrany, díky kterým střela tank vůbec nezasáhne.

Další vývoj tankových pancířů se bude pravděpodobně dlouho soustředit na zdokonalování kompozitních materiálů, nikoli na hledání materiálu, který by dokázal kompozity předčit. Cíle vylepšování kompozitních pancířů zahrnují zlepšení balistické ochrany, ale i snížení hmotnosti. Ta by měla klesnout až na 50 % aktuálních hodnot. Snížit hmotnost tankového pancéřování lze například nahrazením oceli titanem nebo hliníkovými slitinami zesílené uhlíkovými vlákny. [26]

Na americké Rice Univerzity byl experimentálně zkoumán také grafen a jeho možnosti využití v balistické ochraně. Grafen je tvořen atomy uhlíku uspořádanými do šestiúhelníků v jediné rovině a patří mezi nejpevnější známé materiály. V rámci experimentu byly vystřelovány skleněné kuličky o průměru přibližně 3 μm rychlostí až 3 km/s na 10-100 nm tlusté grafenové fólie. Ukázalo se, že grafen dokáže pohlcovat energii při nárazu přibližně dvakrát lépe než kevlar a přibližně desetkrát lépe než ocel. Grafen dokáže absorbovat 0,92 MJ/kg energie, zatímco ocel pouze 0,08 MJ/kg. Grafen je tedy pro pancéřování velice vhodným materiálem. Zásadní problém je však jeho extrémně vysoká cena a náročná výroba. [36]

Mezi systémy aktivní ochrany patří například dynamická ochrana třetí generace, tzv. elektrický pancíř nebo systémy rušení navádění protitankových řízených střel. Dynamická ochrana třetí generace kombinuje reaktivní pancéřování a systém aktivní ochrany. Senzory snímají okolí tanku a když zjistí blížící se střelu, odpálí nálož výpočtem určené schránky (podobné jako u reaktivního pancéřování), jejíž víko je tak odpáleno proti střele a způsobí její výbuch ještě před dopadem na vlastní pancéřování. Tento způsob ochrany je ve fázi testování. Elektrický pancíř byl úspěšně otestován v roce 2003. Skládá se z několika vrstev blíže nespecifikované slitiny, které tak tvoří velký kondenzátor. Ten lze během krátké doby nabít na vysoké napětí v řádech kilovoltů. Částice mědi, které velmi dobře vedou elektrický proud, se při setkání s tak silným elektrickým polem okamžitě rozptýlí a paprsek ztratí většinu energie. Komplet elektrického pancíře váží několik tun, nahradí ale 10-20 tun vrstveného pancéřování. Energie elektrického zdroje vozidla potřebná k zastavení jedné střely je údajně srovnatelná s „nastartováním motoru za chladného rána“. Systémy rušení naváděných střel skrývají tank, nebo vytváří klamné cíle, které může naváděcí systém zaměnit za původní cíl, od kterého může raketu odklonit. Jedná se například o dýmovou clonu proti zaměřování laserem nebo infračervené zářiče proti raketám s poloautomatickým naváděním. [32]

6 Chemické složení pancířů

V této kapitole uvedu příklady konkrétních chemických složení pancéřových materiálů. Formu tabulek jsem zvolil z důvodu lepší přehlednosti.

Vozidlo	C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Ostatní
Tiger	0,4	0,9	0,5	2,7	1,5		V = 0,15 % P _{max} , S _{max} = 0,03 %
T-34	0,4	0,8	0,4	2,2	0,5	0,18	V = 0,2 %
T-55	0,33	0,5	0,35	2,3	2,3	0,34	–
BVP	0,26	1,4	1,4	0,3	0,5	0,2	P _{max} , = 0,035 % S _{max} = 0,03

Tabulka 12 - Přibližné složení pancířů vybraných vozidel [27]

Označení oceli	Chemické složení oceli [%]									Tvrdost HB/ tloušťka plechu [mm]
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P	B	
2P	0,23 0,29	1,2 1,6	1,2 1,6	max 0,30	max 0,50	0,15 0,25	max 0,030	max 0,035	–	444-514/4-7 388-495/8-14 363-495/15-20

Tabulka 13 - Chemické složení (střední hodnoty) pancéřové oceli 2P [3]

Typ oceli ARMOX	C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	B [%]	P [%]	S [%]
370T	0,32	0,4	1,2	1,0	1,8	0,7	0,005	0,010	0,003
440T	0,21	0,5	1,2	1,0	2,5	0,7	0,005	0,010	0,003
500T	0,32	0,4	1,2	1,0	1,8	0,7	0,005	0,010	0,003
600T	0,47	0,7	1,0	1,5	3,0	0,7	0,005	0,010	0,003

Tabulka 14 - Chemické složení (maximální hodnoty) pancéřových ocelí ARMOX [37]

ULTRAFORT 6355	C [%]	Ni [%]	Mo [%]	Co [%]	Ti [%]
	≤0,03	18,0	5,0	10,0	0,5-1,0

Tabulka 15 - Chemické složení oceli ULTRAFORT 6355 [25]

Slitina	Al [%]	Mg [%]	Mn [%]	Fe [%]	Si [%]	Cr [%]	Zn [%]	Ti [%]	Cu [%]
5083	92,4-95,6	4,0-4,9	0,4-1,0	0-0,4	0-0,4	0,05-0,25	0-0,25	0-0,15	0-0,1
7039	90,5-94,1	2,3-3,3	0,1-0,4	≤0,4	≤0,3	0,15-0,25	3,5-4,5	≤0,1	≤0,1

Tabulka 16 - Chemické složení hliníkových slitin [38], [39]

Zdroj	C [%]	Mn [%]	Mo [%]	B [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]
Canadian Heat Treat	0,28	1,54	0,50	0,0011	0,23	0,008	0,008	–	–
Aberdeen Test Center	0,26	1,30	0,50	0,0007	0,28	0,017	0,002	0,016	0,100

Tabulka 17 - Chemické složení homogenních válcovaných ocelí z konce 20. století [33]

Označení oceli	C [%]	Ni [%]	Cr [%]	Mo [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	B [%]
IRHA	0,26	3,28	1,39	0,57	0,34	0,40	0,008	0,004	–

Tabulka 18 - Vylepšená pancéřová ocel (IRHA = Improved Rolled Homogeneous Armor) vyvinutá v 90. letech v USA [33]

Závěr

Bakalářská práce představila typy protipancéřové munice, stručně shrnula vývoj tanků a popsala pancíř, jeho typy, základní principy fungování pancířů a jejich další vývoj.

Existují dva základní typy protipancéřové munice – průbojná a kumulativní. V dnešní době patří k nejpoužívanějším typům průbojné munice převážně křídélky stabilizované šípové podkaliberní střely. Rážové průbojné střely se již pro svoje nedostatečné průbojné schopnosti používají jen omezeně. Kumulativní protitankové střely jsou také většinou šípové stabilizovány křídélky, protože stabilizace rotací by zhoršovala jejich průbojné schopnosti. Protože převažují šípové střely, většina dnešních tankových děl má hladký vývrt hlavně bez drážkování. Je zřejmé, že tanky za více než sto let své existence prošly dlouhým vývojem. Nejednalo se ale pouze o vylepšování stroje jako takového, ale vývoj byl ovlivňován a umožňován pokrokem lidstva v různých oborech. Dnešní tanky jsou velmi výkonné také díky množství elektroniky a automatizovaných systémů, které mají na palubě.

Pancíř je prvek pasivní ochrany osob nebo majetku, jehož cílem je udržet ničivý potenciál zbraně mimo chráněný prostor. Typů pancířů, stejně jako typů munice, bylo vyvinuto velmi mnoho. Většina jejich typů byla již municí překonána. nejnovější typy kompozitních pancířů v kombinaci se systémy dynamické nebo aktivní ochrany poskytují však velice kvalitní ochranu. Stále je ale třeba snižovat hmotnost pancéřování, protože vyšší hmotnost ztěžuje pohyb tanku a zvyšuje spotřebu paliva. V nejbližší budoucnosti je pravděpodobné, že se snižování hmotnosti bude dosahovat nahrazováním oceli jinými materiály se stejnými nebo lepšími ochrannými schopnostmi. Takovými materiály mohou být například slitiny titanu nebo hliníku. Dalším krokem ve snižování hmotnosti tanků je výzkum a používání kevlarových a podobných úpletů, které jsou velice lehké a potenciálně by mohly dovolit zmenšení tloušťky částí pancíře o vysoké hustotě.

Seznam použitých zdrojů

- [1] PLÍHAL, Bohumil, Stanislav BEER, Jan KOMENDA, Josef BROUČEK, Zdeněk FIŠERA a Ludvík JUŘÍČEK. *Munice*. Brno: UO Brno, 2004.
- [2] PLÍHAL, Bohumil. *Balistická ochrana*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2012. ISBN 978-80-7231-862-9.
- [3] JUŘÍČEK, Ludvík a Pavel NOVOTNÝ. Modelování průstřelu ocelové desky malorážovou průbojnou střelou. *Vojenské zdravotnické listy* [online]. 2004, (3), 97-106 [cit. 2017-05-09]. ISSN 0372-7025. Dostupné z: http://www.pmfhk.cz/VZL/VZL3_2004/4Juricek.pdf
- [4] KOMENDA, Jan. T-34 a průbojné jádrové střely. In: *Ruce vzhůru* [online]. 2009 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: www.rucevzhuru.cz/index.php/technika/195-tank-t-34-a-prubojne-jadrove-strely.html
- [5] KOŘÉNEK, David. Typy munice užívané obrněnou technikou. In: *Fronta.cz* [online]. 2000 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.fronta.cz/typy-munice-uzivane-obrnenou-technikou>
- [6] TINTĚRA, Jiří. Tank Mark I. In: *Valka.cz* [online]. 2008 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://forum.valka.cz/topic/view/73098/Tank-Mark-I>
- [7] B., David. Tank Mark I. In: *Tank Encyclopedia, the first online tank museum* [online]. 2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.tanks-encyclopedia.com/ww1/gb/tank_MkI.php
- [8] PERRETT, Bryan. *The Churchill Tank*. Illustrated by Mike CHAPPELL. London: Osprey Publishing, 1980. ISBN 08-504-5340-2.
- [9] Infantry Tank Mk IV Churchill (A22) Infantry Tank. In: *Military Factory* [online]. MilitaryFactory.com, c2003-2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.militaryfactory.com/armor/detail.asp?armor_id=66
- [10] MUNRO, Bill. *The Centurion Tank*. Ramsbury: Crowood, 2005. ISBN 18-612-6701-0.
- [11] Challenger II. In: *Tank Encyclopedia* [online]. 2015 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://www.tanks-encyclopedia.com/modern/UK/FV4034_Challenger-2.php
- [12] DUNSTAN, Simon. *Challenger 2 Main Battle Tank 1987-2006*. New York: Osprey Pub., 2006. ISBN 978-184-1768-151.
- [13] KURKA, Pavel. Tank Challenger 2. In: *Military* [online]. 2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.military.cz/british/armour/Challenger2/challenger2.htm>
- [14] PANCHARTEK, Radek. A7V - Císařovy nové tanky. In: *Valka.cz* [online]. 2012 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.valka.cz/14699-A7V-Cisarovy-nove-tanky>
- [15] "VK" - Bedeutung. In: *Panzer-Archiv.de* [online]. c2001-2005 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://forum.panzer-archiv.de/viewtopic.php?t=10930>

- [16] JENTZ, Thomas a H. DOYLE. *Germany's Tiger Tanks: D.W. to Tiger I*. Atglen, PA: Schiffer Publ., c2000. ISBN 07-643-1038-0.
- [17] JERCHEL, Michael a Uwe SCHNELLBACHER. *Leopard 2 Main Battle Tank 1979-1998*. New York: Osprey Publishing, 2005. ISBN 1 85532 691 4.
- [18] GROHMAN, Jan. Modernizace německých tanků Leopard 2 - Leopard 2 A7+. In: *Armádní noviny* [online]. 2012 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.armadinoviny.cz/modernizace-nemeckych-tanku-leopard-2-leopard-2-a7-.html>
- [19] ZALOGA, Steven a Jim KINNEAR. *KV-1&2: Heavy tanks 1939-1945*. Oxford: Osprey Publishing, 2001. ISBN 1 85532 496 2.
- [20] ZALOGA, Steven, Jim KINNEAR, Andrey AKSENOV a Aleksandr KOSHCHAVTSEV. *Soviet tanks in combat, 1941-1945: the T-28, T-34, T-34-85 and T-44 medium tanks*. New Territories, Hong Kong: Concord, 1997. ISBN 96-236-1615-5.
- [21] T-14 Armata main battle tank. In: *Army Recognition* [online]. 2017 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.armyrecognition.com/russia_russian_army_tank_heavy_armoured_vehicles_u/t-14_armata_russian_main_battle_tank_technical_data_sheet_specifications_information_description_pictures.html
- [22] Revoluce mezi ruskými tanky: Armata převálcuje všechny. In: *Security magazin* [online]. 2015 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.securitymagazin.cz/technologie/revoluce-mezi-ruskymi-tanky-armata-prevalcuje-vsechny-1404043917.html>
- [23] KOSTELKA, Filip. Tank. *Čelem vzad* [online]. 2004, (12) [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.celemvzad.cz/clanek.php?cislocclanku=53&hodnoceni=1>
- [24] NOVÁČEK, Vojtěch. Vývoj hi-tech kompozitních sendvičů pro balistickou ochranu. In: *Konference studentské tvůrčí činnosti* [online]. Praha, 2013 [cit. 2017-04-28]. ISBN 978-80-01-05232-7.
- [25] ULTRAFORT 6355 [online]. In: *Krefeld: Edelstahl Witten-Krefeld*, [b.r.] [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: https://app.aws.org/mwf/attachments/72/69072/ultrafort6355_english.pdf
- [26] MACHÁČEK, Daniel. Vrstvené pancéřování. In: *Moderní tanky* [online]. c2001-2002 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://mainbattletanks.czweb.org/Tanky/subsys/vrstpanc.htm>
- [27] HILD, Roman a Oldřich TĚŠÍK. *Opravy pancířů tankové techniky*. Brno: VA Brno, 1993.
- [28] BENEŠOVÁ, Soňa. Termomechanické zpracování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2015, (6), 90 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/termomechanicke-zpracovani.html>

- [29] LANGER, Michal. *Pancéřování a způsoby jeho překonávání* [online]. Zlín, 2014 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/30155/lander_2014_dp.pdf?sequence=1
- [30] Co je to pancíř?. In: *Valka.cz* [online]. 2007 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://forum.valka.cz/topic/view/382#222645>
- [31] VISINGR, Lukáš. RPG-7 - nestárnoucí pancéřovka. In: *Militarybox - internetový armádní magazín* [online]. 2013 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.militarybox.cz/news/rpg-7-nestarnouci-pancerovka/>
- [32] VISINGR, Lukáš. *Ochrana tanků budoucnosti* [online]. Brno, [2004] [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: https://is.muni.cz/www/60659/1450261/1450264/ochrana_tanku.pdf.
- [33] PRIFTI, Joseph, Michael CASTRO, Richard SQUILLACIOTI a Raymond CELLITTI. *Improved Rolled Homogeneous Armor (IRHA) Steel Through Higher Hardness* [online]. Aberdeen, 1997 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA329222>
- [34] MONTGOMERY, Jonathan, Martin WELLS, Brij ROOPCHAND a James OGILVY. Low-Cost Titanium Armors for Combat Vehicles. *JOM* [online]. 1997, 49(5), 45-47 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.tms.org/pubs/journals/jom/9705/montgomery-9705.html>
- [35] HORÁK, Rudolf a Vlastimil ŠEDIVÝ. Podle NOVÁČEK, Vojtěch. Vývoj hi-tech kompozitních sendvičů pro balistickou ochranu. In: *Konference studentské tvůrčí činnosti* [online]. Praha, 2013 [cit. 2017-04-28]. ISBN 978-80-01-05232-7.
- [36] COXWORTH, Ben. Graphene could find use in lightweight ballistic body armour. *New Atlas - New Technology & Science News* [online]. 2014 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://newatlas.com/graphene-bulletproof-armor/35004/>
- [37] SSAB [online]. Stockholm, 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.ssab.com/>
- [38] 5083 Aluminium. In: *MakeItFrom.com: Material Properties Database* [online]. c2009-2016 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.makeitfrom.com/material-properties/5083-AlMg4.5Mn0.7-3.3547-N8-A95083-Aluminum>
- [39] Aluminium 7039 Alloy (UNS A97039). In: *AZO Materials* [online]. c2000-2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=8764>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Jádrová střela s válcovým (vlevo) a cívkovým (vpravo) pouzdrem [4]	9
Obrázek 2 - Průběh kumulace [1]	10
Obrázek 3 – Princip funkce kumulativní střely [5]	11
Obrázek 4 - Prototyp tanku Mark I [7]	12
Obrázek 5 - Churchill Mark I [8]	13
Obrázek 6 - Centurion Mark I s válcovanou věží [10]	14
Obrázek 7 - Challenger 2 [12]	15
Obrázek 8 - Replika tanku A7V [14]	16
Obrázek 9 - Panzerkampfwagen VI Tiger (H) [16]	17
Obrázek 10 - Leopard 2A4 [17]	18
Obrázek 11 - Tank KV-1 [19]	19
Obrázek 12 - Tank T-34 Model 1942 [20]	20
Obrázek 13 - T-14 ARMATA [21]	21
Obrázek 14 - Princip efektivní tloušťky pancíře	22
Obrázek 15 - Schránka základního typu reaktivního pancéřování [29]	25
Obrázek 16 - Fáze průniku projektilu keramickým kompozitem a úlohy vrstev [24]	26
Obrázek 17 - Schéma pancíře Chobham [26]	27
Obrázek 18 - Čtvercová a šestiúhelníková keramická destička pro kompozitní pancíř [24] ...	28

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Parametry tanku Mark I [6]	13
Tabulka 2 - Parametry tanku Churchill MkI [9]	14
Tabulka 3 - Parametry tanku Centurion [10]	15
Tabulka 4 - Parametry tanku Challenger 2 [11]	15
Tabulka 5 - Parametry tanku A7V [14]	16
Tabulka 6 - Parametry tanku Panzerkampfwagen VI Tiger (H) [16]	17
Tabulka 7 - Parametry tanku Leopard 2 [18]	18
Tabulka 8 - Parametry tanku KV-1 [19]	19
Tabulka 9 - Parametry tanku T-34 [20]	20
Tabulka 10 - Parametry tanku T-14 ARMATA [21]	21
Tabulka 11 - Rozdělení pancířů tanků podle tloušťky a tvrdosti [27]	23
Tabulka 12 - Přibližné složení pancířů vybraných vozidel [27]	32
Tabulka 13 - Chemické složení (střední hodnoty) pancéřové oceli 2P [3]	32
Tabulka 14 - Chemické složení (maximální hodnoty) pancéřových ocelí ARMOX [37]	32
Tabulka 15 - Chemické složení oceli ULTRAFORT 6355 [25]	32
Tabulka 16 - Chemické složení hliníkových slitin [38], [39]	33
Tabulka 17 - Chemické složení homogenních válcovaných ocelí z konce 20. století [33]	33
Tabulka 18 - Vylepšená pancéřová ocel (IRHA = Improved Rolled Homogeneous Armor) vyvinutá v 90. letech v USA [33]	33